

Localité / non localité

https://academiesciencesmoralesetpolitiques.fr/wp-content/uploads/2019/05/12-05-22_physiquequantiquerealite.pdf Extraits

Bernard d'Espagnat. Physique quantique et réalité la réalité c'est quoi ? Université Paris-Diderot, 2012
[...] Traditionnellement, ce qu'elle [*la mécanique classique*] dit a toujours été considéré comme **une description de la réalité telle qu'elle est**. Elle dit qu'il y a des corps matériels. Elle dit qu'il y a des champs, électriques et magnétiques. A tous elle associe des symboles mathématiques obéissant à certaines lois, dont l'ensemble constitue une théorie. De ces lois, certaines conséquences, testables expérimentalement, sont ensuite dérivées et mises à l'épreuve de l'expérience. Cette dernière étape est évidemment essentielle mais elle n'est pas partie inhérente de la théorie. Il est possible, en physique classique, de décrire correctement toute la théorie sans jamais faire la moindre référence, même implicite, à l'observation ou l'action humaine. Quand nous avons affaire à une telle théorie, entièrement fondée sur l'idée limpide que les entités dont elle traite sont une multitude d'objets localisés n'interagissant pratiquement pas entre eux quand ils sont loin les uns des autres, plus éventuellement des champs ayant une valeur en tout point de l'espace ou de l'espace-temps, toutes ces entités existant vraiment par elles-mêmes, que nous puissions ou non les percevoir, nous conviendrons de dire que cette théorie est compatible avec **le réalisme local**. Ce réalisme local est une conception qui nous est tellement naturelle qu'à première vue elle peut sembler incontournable. Certes elle repose sur le postulat que l'esprit humain a en sa possession tous les concepts correspondant à ce qu'est le réel. Mais jusqu'à l'avènement de la mécanique quantique cette hypothèse paraissait confirmée par l'expérience. Au moment de l'apparition de la mécanique quantique il était, bien sûr, assez naturel d'espérer qu'il en irait de même de cette nouvelle théorie. Qu'elle aussi s'avérerait compatible avec le réalisme local. Et de fait tel semble avoir été l'idée, non certes de ses fondateurs, Bohr, Heisenberg etc. mais du moins de beaucoup de leurs successeurs. Alors, cette prémonition fut-elle réalisée ? Eh bien, ceux parmi vous qui ont eu l'occasion d'appliquer la physique quantique à l'étude de problèmes purement statiques, tels que la détermination des niveaux d'énergie des atomes ou des molécules, peuvent avoir l'impression que la réponse est "oui". En effet, le problème s'y réduit à la recherche des conditions dans lesquelles la fonction d'onde, fonction des coordonnées d'espace et du temps, peut s'écrire comme le produit d'une fonction des seules coordonnées d'espace par une fonction du temps seul. Qualitativement cela ressemble énormément au problème classique des cordes vibrantes, où la corde est une réalité dont la forme évolue dans le temps. D'où l'idée toute naturelle que la fonction d'onde est, elle aussi, une réalité existant indépendamment de nous. Que c'est elle qui constitue la vraie réalité de la particule dont il s'agit. Et de fait la mécanique quantique que nous appelons "standard", celle qu'on enseigne à l'université, a été fondée sur l'idée, manifestement très voisine, que la fonction d'onde d'un système représente l'information la plus précise qu'il soit possible d'avoir sur un système. [...]

Notons quand même ici un point assez embarrassant. Il tient au fait que si l'on refait une mesure qu'on vient de faire, normalement on doit retrouver le même résultat : et c'est bien, effectivement, ce qu'on constate. Lors de la première mesure la probabilité du résultat a donc brusquement changé, puisqu'elle est passé d'une valeur inférieure à 1 à la valeur 1. Et puisque c'est à partir de la fonction d'onde qu'on calcule les probabilités cela implique que la fonction d'onde a brusquement changé elle aussi (dans notre jargon nous disons qu'elle est "réduite"). Un tel changement est toutefois difficile à concevoir car la fonction d'onde est étalée dans l'espace.

Si elle constitue une réalité physique cela implique par conséquent que l'opération de mesure induirait des changements instantanés à distance ... ce qui est impossible, nous dit la relativité. Alors, finalement, est-ce si sûr que ça qu'une fonction d'onde est une réalité physique ? Essayons de nous passer de cette hypothèse. [...] Alors, à défaut de la fonction d'onde dont nous ne savons plus très bien si elle est réelle ou pas, tenons-nous enfin de vrais éléments de la réalité ? Einstein l'espérait et le physicien John Bell, a voulu savoir ce qu'il en était. Il s'est pour cela fondé sur l'argument que je viens de dire, qui l'a convaincu qu'au moins dans de telles expériences les propriétés des particules en jeu sont bien réelles. Il a alors voulu tester l'hypothèse bien naturelle que le résultat d'une mesure faite à un endroit ne dépend pratiquement pas de ce qui se passe à un autre endroit situé très, très loin - aussi loin qu'on veut - du premier, ce qui est l'hypothèse de localité. Et sur ces bases, prises comme hypothèses à tester, il a pu démontrer - indépendamment de toute théorie particulière, la quantique ou quelque autre - la validité de certaines inégalités entre quantités mesurables. **Alors que**, fit-il remarquer, **elles sont violées par les prédictions vérifiables de la mécanique quantique**. Et, qui plus est, **elles le sont aussi par l'expérience** comme les travaux d'Alain Aspect et son équipe l'ont établi un peu plus tard. Etrangement, cela montre que si l'on tient pour convaincante la preuve de réalité que nous venons de voir on doit renoncer à tout réalisme local. **On doit accepter la "non-localité", la violation de la localité**, idée qui viole non seulement le bon sens mais même la relativité comme on le voit bien aisément. Ces quelques aperçus suffisent déjà à montrer que concilier la mécanique quantique avec le réalisme local, qui est le réalisme du sens commun, est impossible. [...]